Archive of SID

مهندسی بیوسیستم ایران، دورهٔ ۴۷، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۵ (ص۴۳۰-۴۲۵)

تشخیص آهنگ عبور مواد گرانوله با استفاده از تحلیل صدا و روش‌های آماری چند متغیره

قاسم بهرامی[۱]، سجاد کیانی[۲*]

۱. فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شیراز

۲. دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه تربیت مدرس، تهران

(تاریخ دریافت : ۱۳۹۴/۳/۲۴- تاریخ تصویب : ۱۳۹۴/۱۲/۴)

چکیده

یکی از موضوعات مهم در ماشین‌های کشاورزی و انبارهای ذخیره مواد دانه‌ای، اندازه‌گیری مقدار جریان عبوری این مواد می‌باشد. هدف از این تحقیق، اندازه‌گیری نرخ عبور مواد دانه‌ای (گندم) با استفاده از صدای ایجاد شده حین انتقال این مواد می‌باشد. به همین منظور دستگاهی متشکل از مخزن، موزع، لوله سقوط، حسگر صدا و محرک الکتریکی موزع ساخته شد. نرخ‌های جرمی مختلف گندم از لوله سقوط گذرانده و سیگنال صوتی حاصل توسط حسگر به جعبه ابزار استحصال داده منتقل گردید. با استفاده از تبدیل موجک سیگنال‌ها، خصوصیات فرکانسی هر سیگنال استخراج گردید. سپس توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (MLP) و روش آنالیز تشخیصی، میزان توانایی سامانه برای طبقه‌بندی مقادیر مختلف دبی‌ها عبوری بررسی گردید. نتایج نشان داد که روش آنالیز تشخیصی با دقت بالاتری (۹۷٪) نسبت به روش شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده (دقت ۸۹٪ و R^2=۰/۸۷۷) قادر به تمایز دبی‌های جرمی متفاوت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: نرخ عبور، مواد دانه‌ای، پردازش صدا، تبدیل موجک، کشاورزی دقیق

مقدمه

در بین کمیت‌ها و پارامترهای عمده که در ماشین‌های کشاورزی مورد اندازه‌گیری و کنترل قرار می‌گیرند، اندازه‌گیری و کنترل آهنگ جریان مواد عبوری نقش مهم و به سزایی را ایفا می‌کند. در حال حاضر در بیشتر ماشین‌های کاشت بذر تنظیم میزان ریزش بذر بر اساس تغییر مقدار جریان با استفاده از سیستم‌های مکانیکی و موزع‌ها انجام می‌شود که در این نوع کنترل، میزان ریزش بذر بدون بازخورد می‌باشد. سامانه‌ای که بتواند به صورت دقیق جریان مواد در حال کاشت را اندازه‌گیری و اطلاعات را به صورت برخط در اختیار سامانه کنترل خودکار موزع‌ها قرار دهد اولین بخش از سیستم کنترل جریان بذر خواهد بود. در دهه‌های گذشته تحقیقات متعددی درباره استفاده از انعکاس صدا برای اندازه‌گیری کمیت‌ها و کیفیت‌های محصولات کشاورزی انجام شده است. به عنوان مثال در سال ۱۹۹۰ برای تعیین سفتی سیب از ارتعاشات صوتی با تحریک ضربه (ایمپالس) استفاده شد (Armstrong *et al.*, 1990). آنها بر اساس نتایج حاصله با استفاده از فرکانس تشدید ارتعاشات صوتی ناشی از ضربه، مدول الاستیسیته سیب را تخمین زدند. در سال ۱۹۹۶ روش تحلیل صدا برای شناسایی ترک‌های حاصل از یخ زدگی در غذاهای مختلف در مقابل سرما به کار گرفته شد (Mc-Cambridge *et al.*, 1996). بر اساس نتایج این تحقیق اعلام شد که هنگام ایجاد ترک‌ها، دامنه و فرکانس بالاتری نسبت به نویز زمینه به وجود می‌آید.

در تحقیقی دیگر برای شناسایی ترک پوسته تخم مرغ، بر اساس تحلیل فرکانس تشدید صوتی، توسط یک سیستم مکانیکی در چند ناحیه روی تخم مرغ، ضرباتی وارد گردید (De Ketelaere *et al.*, 2000). نتایج نشان داد که تعداد محدود ضربات و سادگی عمل، امکان توسعه یک دستگاه شناسایی ترک پوسته تخم مرغ با سرعت بالا را فراهم می‌کند و همچنین انواع شکستگی‌ها در این سیستم قابل شناسایی می‌باشد. در سال ۲۰۰۱ برای جداسازی پسته‌های خندان از ناخندان به روش تحلیل صدا، آزمایشاتی انجام شد (Pearson *et al.*, 2001). بر اساس نتایج به دست آمده از این روش، حدود ۴/۶٪ پسته خندان بیشتر نسبت به روش‌های دستی به دست آمد. همچنین در این زمینه در سال ۲۰۰۴ تکنیک بازشناسی صدا[1] برای جداسازی پسته‌های خندان از ناخندان با دقت بیش از ۹۹ ٪ مورد استفاده قرار گرفت (Cetin *et al.*, 2004). در مطالعاتی

* نویسنده مسئول : kiani.sajad@gmail.com

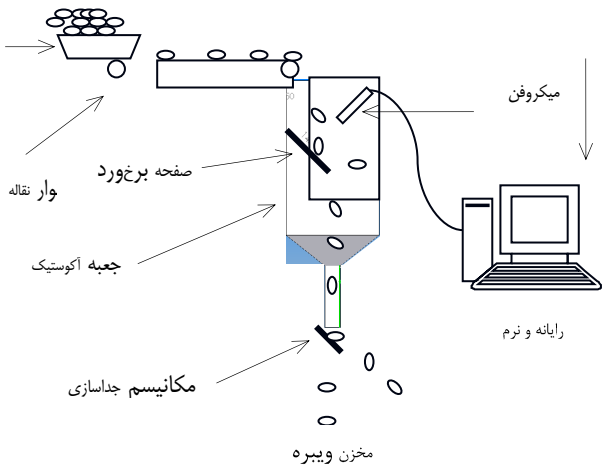
1. Voice Recognition

www.SID.ir

Archive of SID

دیگر از این روش برای طبقه بندی میوه‌ها بر اساس رسیدگی و سفتی میوه (Garsia-Ramos *et al.*, 2003)، برای بررسی کیفیت داخلی هندوانه (Iglesias *et al.*, 2004) و همچنین برای جداسازی دانه‌های آسیب دیده گندم (Pearson *et al.*, 2005) از آنالیز صدا استفاده شد.

برای طبقه بندی چهار رقم پسته ایرانی بر اساس آنالیز صدای انعکاس پسته در حوزه زمان و فرکانس و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در سال ۲۰۰۶ الگوریتم جدیدی ارائه شد (Mahmoudi *et al.*, 2006). همچنین در سال ۲۰۰۸ جهت جداسازی پسته‌های پوک از مغزدار از انعکاس صدای برخورد پسته با یک صفحه فولادی از دو ارتفاع برخورد ۲۵ و ۳۵ سانتی‌متری استفاده شد (Sajadi *et al.*, 2008) (شکل ۱). آنها سیگنال‌های صدای برخورد را در دو حوزه زمان و فرکانس پردازش و در هر حوزه بردارهای مشخصات مناسب (۵۰۰ مشخصه) را استخراج کردند. در نهایت با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی MLP توانستند پسته‌های پوک را با دقت ۹۳ درصد و پسته های مغزدار را با دقت ۹۴ درصد جدا کنند.



شکل ۱. طرحواره دستگاه طراحی شده جهت جداسازی پسته های پوک از مغزدار (Sajadi *et al.*, 2008).

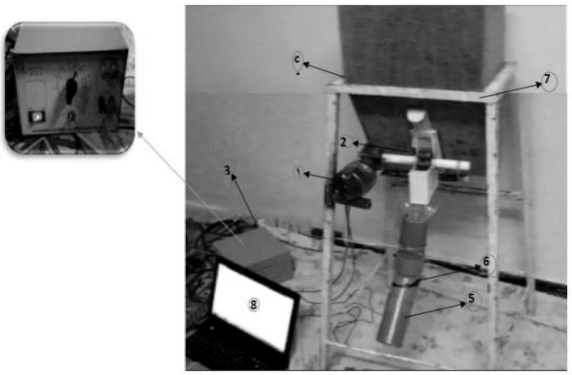
جهت جداسازی گردوهای پوک از مغزدار بدون شکستن آن‌ها با تکیه بر روش‌های آنالیز صدا و شبکه عصبی مصنوعی تحقیقی در سال ۲۰۱۱ انجام گرفت (Dousti *et al.*, 2001). سیگنال آنالوگ انعکاس گردو به وسیله سنسور دریافت، با استفاده از کارت صدای نصب شده بر روی رایانه به سیگنال دیجیتال تبدیل، در محیط برنامه نویسی نرم افزار متلب پردازش و در بخش شبکه عصبی طبقه بندی شد. در نهایت بیان کردند که این سامانه می‌تواند با دقت ۹۹ درصد گردوهای پوک را از مغزدار جداسازی کند.

هدف از این تحقیق، استخراج خصوصیات فرکانسی سیگنال به‌دست آمده از نرخ‌های مختلف عبور گندم توسط تبدیل موجک و همچنین تشخیص دبی‌های جرمی مختلف این مواد با استفاده از دو روش شبکه‌های عصبی مصنوعی MLP و همچنین روش آنالیز تشخیصی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

جمع آوری داده‌ها

به منظور ایجاد دبی‌های جرمی مختلف و همچنین یکنواخت نگه داشتن مقدار جریان مواد در هر دبی مشخص، سیستمی با اجزایی شامل مخزن، موزع دندانه‌ای، موتور گرداننده موزع (موتور DC)، منبع ولتاژ متغیر و شاسی طراحی شد (شکل ۲). از آنجا که چشم انداز استفاده از سیستم تشخیص صوتی دبی جرمی، برای کاربردهایی نظیر کمبینات‌ها، خطی کارها و ردیف‌کارها در نظر گرفته شده است، دبی‌های مورد آزمایش شامل ۵۰۰ گرم بر دقیقه، ۷۵۰ گرم بر دقیقه و ۱۰۰۰ گرم بر دقیقه تعیین و با تنظیم مکانیکی یک موزع دندانه‌ای، مورد استفاده در خطی کارهای تولیدی شرکت ماشین برزگر همدان، ایجاد شدند. ولتاژ مورد نیاز این دستگاه، توسط مولد ولتاژ جریان مستقیم DC (۳) تامین گردید. با چرخش موتور، موزع (۲) با سرعت ثابتی شروع به چرخش می‌کند و گندم از مخزن (۴) به داخل لوله سقوط (۵) ریخته می‌شود. با استفاده از حسگر صدا (۶) که در یک پوشش عایق صدا و بر روی لوله سقوط (۵) متصل شده است، صدای عبور دانه‌های گندم به رایانه (۸) منتقل می‌گردد. کلیه قسمت‌های ساخته شده، بر روی شاسی (۷) سوار شده‌اند.



شکل ۲. دستگاه توزیع بذر غلات؛ (۱) موتور DC، (۲) موزع، (۳) مولد ولتاژ، (۴) مخزن، (۵) لوله سقوط، (۶) حسگر صدا، (۷) شاسی و (۸) کامپیوتر.

دریافت سیگنال‌های صوتی

با اتصال حسگر به کارت دریافت داده رایانه، نمونه برداری انجام گرفت. پارامترهای کارت دریافت داده از جمله فرکانس

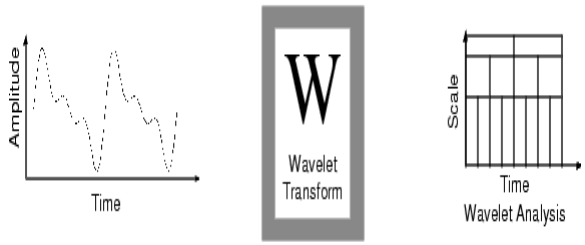
www.SID.ir

Archive of SID

نمونه‌برداری، در ۲۲۰۵۰HZ، تنظیم گردید. برای هر یک از دبی‌های عبوری گندم از لوله، ۳۰۰ نمونه یک ثانیه‌ای ضبط گردید. به منظور پردازش اولیه سیگنال، عملیاتی نظیر تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال و انتقال داده‌های سیگنال از حوزه زمان به حوزه فرکانس، صورت گرفت. پردازش سیگنال در حوزه فرکانس با استفاده از تبدیل ویولت انجام شد. هدف از استخراج خصوصیات، انتخاب خصوصیات معنی دار سیگنال‌ها می‌باشد.

تبدیل ویولت

فرکانس‌های سیگنال‌های الکتریکی حاوی اطلاعات بسیار مفیدی هستند که در بسیاری از کاربردها از جمله در حل مسائل علمی و مهندسی، تحلیل و به صورت گسترده‌ای استفاده می‌شوند. تبدیلات ویولت و فوریه از جمله پر کاربردترین این روش‌ها می‌باشند. مهم‌ترین مشکل تبدیل فوریه این است که در انتقال از حوزه زمان به حوزه فرکانس، اطلاعات زمانی از بین می‌رود. برای از بین بردن مشکل تبدیل فوریه، می‌توان از تبدیل فوریه زمان کوتاه استفاده کرد. تبدیل موجک[1]، از تکنیک تبدیل فوریه زمان کوتاه یعنی به کار بردن پنجره[2] استفاده می‌کند. در شکل (۳)، نحوه عملکرد تبدیل موجک نشان داده شده است.

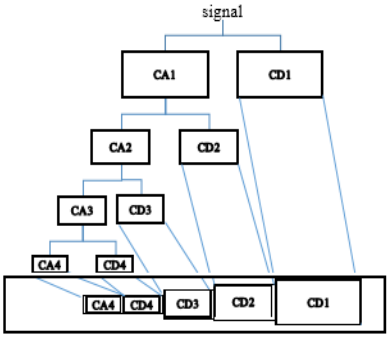


شکل ۳. نحوه عملکرد تبدیل موجک

با اعمال تبدیل ویولت بر روی سیگنال، سیگنال S از دو فیلتر[3] (بالا گذر[4] و پایین‌گذر[5]) عبور داده می‌شود و به دو سیگنال تبدیل می‌شود. تجزیه سیگنال می‌تواند ادامه داشته باشد به طوری که یک سیگنال، می‌تواند به اجزاء با دقت بسیار بالا تقسیم شود. در این پژوهش تابع ویولت از نوع DB_4[6] و در ۴ سطح در نظرگرفته شد. با اعمال این تابع بر روی سیگنال، چهار دسته ضرایب جزئیات[7] و یک دسته ضرایب تخمین[8]، به دست آمد (شکل ۴).

1.Wavelet Transfer
2. Window
3. Filter
4. High-Pass
5. Low-Pass
6. Daubechies Wavelets
7. Detail coefficient
8. Approximation coefficient

به منظور به دست آوردن خصوصیات موثر، برای هر یک از ضرایب تابع ویولت، مقادیر آماری از قبیل میانگین، انحراف معیار، انرژی و آنتروپی محاسبه گردید (جدول ۱).



شکل ۴. تجزیه سیگنال صدا توسط تابع تبدیل ویولت (CD= Detail Coefficients; CA= Approximation Coefficients).

جدول ۱. خصوصیات موثر برای هر یک از ضرایب تابع ویولت

تابع آماری	فرمول
میانگین	$\overline{x} = \frac{1}{n}\sqrt{\sum_{i=1} x_i}$
انحراف معیار	$\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}(x_i - \overline{x})^2}$
انرژی	$\sum_{k=1}^{j} \lvert x_{n,k} \rvert^2$
آنتروپی	$\sum p_i \log(p_i)$

هر نمونه‌ی یک ثانیه‌ای از سیگنال، توسط تابع موجکی به ۵ دسته ضرایب تبدیل و برای هر یک از ضرایب، ۴ خصوصیت آماری تعریف شد. بنابراین ۲۰ خصوصیت برای هر نمونه از سیگنال به دست آمد و از آنجایی که از هر نمونه دبی جرمی عبوری، ۱۰۰ نمونه یک ثانیه‌ای، ضبط گردید در نتیجه برای هر آهنگ عبوری گندم از لوله سقوط، ماتریسی با ابعاد ۲۰×۱۰۰ به دست آمد.

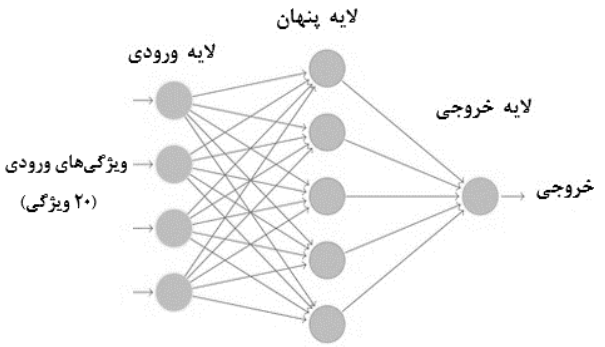
طبقه‌بندی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی MLP در بسیاری از تحقیقات مربوط به مسائل طبقه‌بندی استفاده می‌شود. در شبکه‌های عصبی MLP از روش آموزش نظارت شده استفاده می شود. در این نوع شبکه-ها، در حین آموزش ورودی‌های مورد نظر به شبکه عصبی اعمال و خروجی شبکه با خروجی مطلوب مقایسه می‌شوند. اختلاف بین خروجی واقعی و خروجی مطلوب منجر به تولید سیگنال خطا می‌شود. هدف از آموزش شبکه به حداقل رساندن خطای تولید شده می‌باشد که بر اساس تنظیم وزن‌های شبکه انجام می‌شود و میزان محاسبات لازم برای حداقل نمودن خطا به الگوریتم

www.SID.ir

Archive of SID

آموزش شبکه بستگی دارد (Kia. 2000). تابع خطی purelin با یک نرون در لایه خروجی و تابع انتقال غیرخطی tansig در لایه پنهان با تعداد نرون‌هایی که از روش سعی و خطا تعیین گردید، انتخاب شد. کلیه مراحل ایجاد و آموزش الگوریتم، در جعبه ابزار شبکه عصبی نرم افزار متلب[1] صورت گرفت. از کل داده ها ۷۵ درصد مربوط برای آموزش[2] شبکه، ۱۵ درصد برای ارزیابی[3] و ۱۵ درصد باقیمانده برای آزمایش[4] در نظر گرفته شد. داده‌های گروه ارزیابی جهت جلوگیری از آموزش بیش از حد شبکه به کار می‌روند. شکل (۵)، شبکه عصبی طراحی شده را نشان می‌دهد.



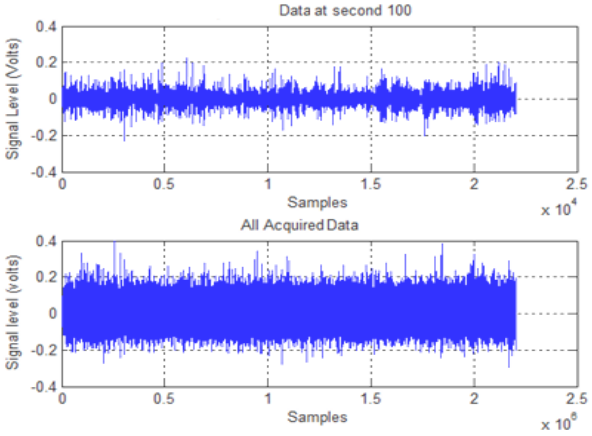
شکل ۵. شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (۲۰ ویژگی در لایه ورودی و یک نتیجه در لایه خروجی)

طبقه‌بندی با استفاده از آنالیز تشخیصی

روش آنالیز تشخیصی، یک روش آماری برای طبقه‌بندی می‌باشد. این روش شبیه به رگرسیون چندگانه است که در آن تاثیر اضافه یا کم کردن یک متغیر مستقل توسط آزمون آماری کنترل می‌شود. وقتی K گروه داشته باشیم، K-1 تابع تشخیص می‌تواند وجود داشته باشد. برای ارزیابی اثر اضافه یا کم کردن متغیرها ورودی شبکه، آنالیزهای آماره های متعدی وجود دارد که کاربردی ترین آنها لاندای ویکس[5] است. معنی داری متغیر لاندای ویکس با اضافه یا کم شدن یک متغیر از طریق آزمون F به دست می آید. در نهایت وقتی روند اضافه و حذف شدن متغیرها کامل شد، آنهایی که در آنالیز باقی می‌مانند، آنهایی هستند که در تابع تشخیص استفاده خواهند شد. تحلیل آنالیز تشخیصی با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۱ انجام گردید.

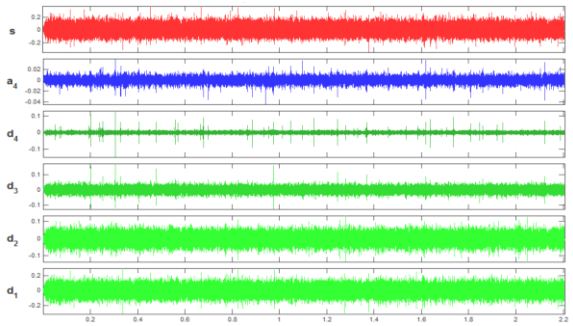
نتایج و بحث

برای هر کدام از شدت جریان‌های عبوری گندم از لوله، به مدت ۱۰۰ ثانیه نمونه برداری انجام و در نتیجه برای هر کدام ماتریسی به ابعاد ۲۲۰۵۰×۱۰۰ به دست آمد. در این آزمایش به منظور استفاده از تمامی اطلاعات سیگنال، هیچ گونه کاهش ابعاد[6] بر روی داده‌ها انجام نگرفت.



شکل ۶. سیگنال در صدمین ثانیه و در مجموع صد ثانیه

در شکل (۶) نمونه‌ای از سیگنال در حوزه زمان آورده شده است. با اعمال تابع موجکی از نوع Db_4 سیگنال حوزه زمان به سیگنال حوزه فرکانس تبدیل می‌شود و ۸ دسته ضرایب به دست خواهد آمد (شکل ۷).



شکل ۷. تجزیه سیگنال S در ۴ سطح d_1 تا d_4

نتایج طبقه بندی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

اعمال شبکه عصبی مصنوعی MLP با تابع trainlm[7] برای آموزش شبکه، سریع‌ترین روش پیاده سازی در نرم افزار متلب می‌باشد و برای یک شبکه متوسط (با چند صد پارامتر موثر) دارای کارایی بسیار بالایی است. شبکه طراحی شده پس از ۶ بار تکرار[8] الگوریتم یادگیری، متوقف (Validation stop) شد (توقف در شبکه به خاطر افزایش در خطای مجموعه معتبرسازی می‌باشد). نتایج طبقه‌بندی در جدول (۲) آورده شده است. بهترین ساختار شبکه عصبی، ۱-۱۵-۲۰ می‌باشد که می‌تواند با دقت

1. MATLAB
2. Training
3. validation
4. Examination
5. Wilk's Lambda

6. Down Sizing
1. Levenberg-Marquardt
2. Epoch

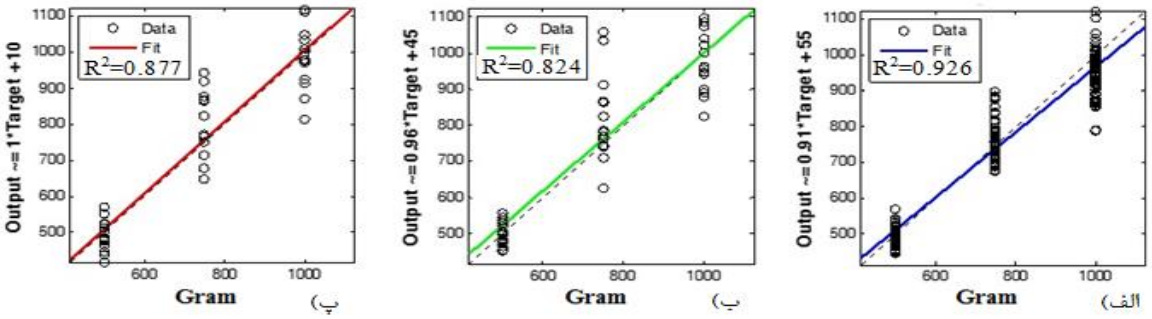
www.SID.ir

Archive of SID

۹۳ درصد آهنگ‌های مختلف عبور گندم از لوله را تشخیص دهد. یعنی الگوریتم طراحی شده یک پیشگویی نسبتاً خوبی از مقدار جریان عبوری گندم ارائه داده و بین دبی های مختلف تمایز خوبی برقرار نموده است (شکل ۸).

جدول ۲- درصد طبقه بندی با استفاده از ساختارهای مختلف شبکه عصبی مصنوعی

مناسب‌ترین ساختار	۱-۲۰-۲۰-۲۰	۱-۱۵-۱۵-۲۰	۱-۱۵-۲۰	۱-۱۰-۱۰-۲۰	۱-۵-۲۰	ساختار شبکه
۱-۱۵-۲۰	دقت طبقه‌بندی متناسب با هر طبقه					
٪۹۳	٪۹۲	٪۹۳	٪۹۳	٪۹۲	٪۸۷	آهنگ عبور ۵۰۰ گرم بر دقیقه
٪۸۷	٪۸۶	٪۸۶	٪۸۷	٪۸۷	٪۹۰	اهنگ عبور ۷۵۰ گرم بر دقیقه
٪۸۷	٪۸۴	٪۸۳	٪۸۷	٪۸۷	٪۸۸	آهنگ عبور ۱۰۰۰ گرم بر دقیقه
٪۸۹	دقت کل					



شکل ۸. نمودار خطای رگرسیون الف) آموزش (Training)، ب) ارزیابی (Validation) و پ) آزمایش (Test)

طبقه بندی با استفاده از روش آنالیز تشخیصی

در تحقیق حاضر، در هر ثانیه، ۲۰ ویژگی به عنوان مشخصه هر جریان عبور معرفی گردید. آنالیز تشخیص پله‌ای، متغیرها را مرحله به مرحله وارد یک معادله پارامتری می‌کند و معنی‌دار بودن حضور هر پارامتر را بررسی می کند. بر طبق جدول (۳)، تابع از میان ۲۰ ویژگی پس از طی ۹ مرحله، ۸ ویژگی معنی دار را انتخاب نمود.

جدول ۳- متغیر اضافه یا حذف شده در تابع تشخیص

مرحله	متغیر اضافه شده	متغیر حذف شده	آماره F	ولیکس لامبدا	معنی داری
۱	S1		۱۴۷/۶۰۵	۰/۰۹۱	۰/۰۰۰
۲	En5		۳۹۷/۲۰۷	۰/۰۷۴	۰/۰۰۰
۳	En1		۳۰۱/۵۹۳	۰/۰۶۰	۰/۰۰۰
۴	M1		۲۵۵/۸۶۵	۰/۰۵۰	۰/۰۰۰
۵	Eg5		۲۱۲/۹۴۱	۰/۰۴۷	۰/۰۰۰
۶	M5		۱۸۱/۰۵۲	۰/۰۴۲	۰/۰۰۰
۷	S5		۱۶۰/۳۱۹	۰/۰۴۲	۰/۰۰۰
۸		En5	۱۸۷/۴۸۸	۰/۰۴۱	۰/۰۰۰
۹	S2		۱۶۳/۵۷۴	۰/۰۴۱	۰/۰۰۰

M=Mean; S= Standard Deviation; En= Entropy and Eg= Energy

تابع آنالیز تشخیص، توسط دو معادله (۲ و ۳) معرفی می‌شود. از آنجایی که معنی داری معادلات صفر می‌باشد پس با اطمینان می‌توان از دو زیر معادله استفاده نمود.

(رابطه۲)

$$Y1 = 0.023(M1) + 0.764(S1) - 0.603(En1) + 0.621(S2) + 0.525(M5) + 1.101(S5) - 0.856(Eg5)$$

(رابطه۳)

$$Y1 = 0.988(M1) + 6.408(S1) - 6.493(En1) + 0.164(S2) + 0.004(M5) - 0.709(S5) + 0.754(Eg5)$$

www.SID.ir

Archive of SID

با استفاده از معادلات ۲ و ۳، می توان در مورد دبی‌های جرمی مجهول بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ گرم بر دقیقه پیشگویی نمود و مشخص کرد که صدای تولیدی هر سیگنال به چه دسته‌ای تعلق دارد و یا با دقت بیان شده، از بین هر دو دبی درون یابی کرد. نتایج حاصله در جدول شماره ۴ آورده شده است. از جدول ۴ می‌توان نتیجه گرفت که روش آنالیز تشخیصی، با دقت بالای ۹۵٪ می‌تواند آهنگ‌های مختلف عبور گندم از لوله را تشخیص دهد.

جدول ۴. درصد طبقه‌بندی با روش آنالیز تحلیل

دقت طبقه بندی	آهنگ عبور ۱۰۰۰ گرم بر دقیقه	آهنگ عبور ۷۵۰ گرم بر دقیقه	اهنگ عبور ۵۰۰ گرم بر دقیقه	
۱۰۰٪	۰	۰	۱۰۰٪	اهنگ عبور ۵۰۰ گرم بر دقیقه
۹۵٪	۵٪	۹۵٪	۰	آهنگ عبور ۷۵۰ گرم بر دقیقه
۹۶٪	۹۶٪	۴٪	۰	آهنگ عبور ۱۰۰۰ گرم بر دقیقه
۹۷٪			دقت کل	

نتیجه گیری

با استفاده از تبدیل موجک، خصوصیات فرکانسی سیگنال صدای ناشی از عبور مقادیر مختلف دانه‌های گندم از لوله سقوط استخراج و سپس با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی MLP و روش آنالیز تشخیصی طبقه‌بندی شدند. نتایج طبقه‌بندی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی با دقت ۸۹٪ (R^2=۰/۸۷۷) به دست آمد. روش آنالیز تشخیصی با دقت ۹۷٪ و بالاتر از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی (با دقت ۸۹٪، جدول ۲) دبی‌های مختلف مقدار گندم عبوری را تشخیص داد. تفکیک بین آهنگ‌های عبور مواد، با استفاده از روش پردازش صدا، یک روش کارآمد با سرعت و دقت بالا می‌باشد که معایب روش‌های موجود مکانیکی را نخواهد داشت و همچنین هیچگونه محدودیتی در مقابل حرکت مواد ایجاد نمی‌کند. این روش می‌تواند به خصوص در مکان‌هایی که دسترسی به محل حرکت دانه‌ها سخت می‌باشد، در کمباین‌های برداشت غلات و نیز سیلوهای ذخیره غلات بهینه‌سازی و قابل استفاده باشد.

REFERENCES

Armstrong, P.R., Zapp, H.R., & Brown, G.K. (1990) Impulsive excitation of acoustic vibrations in apples for firmness determination. *Transactions of the ASAE*, 33 (4), 1353-1359.

Cetin, A.E., Pearson, T.C., & Tewfik, A.H. (2004) Classification of closed and open shell pistachio nuts using voice-recognition technology. *Transactions of the ASAE*, 47, 659-664.

De Ketelaere, B., Couck, P., & Baerdemaeker, J. (2000) Eggshell crack detection based on Acoustic resonance frequency analysis. *Journal of Agricultural Engineering Reserch*, 76(2), 157-163.

Dousti, A., Ghazanfari, M.E., Maleki, E., Mahmodi, M. (2001) Walnut unfilled diagnosis using sound analysis and artificial neural network. *The first national conference on strategies to achieve sustainable agriculture*. (In Farsi)

Garsia-Ramos, F.J., Ortiz-Canavate, J., Ruiz-Altisent, M., Diez, J., Flores, L., Homer, I., & Chavez, J.M. (2003) Development and Implementation of an on-line impact sensor for firmness sensing of fruits. *Journal of Food Engineering*, 58, 53-57.

Iglesias, B.D., Ruiz-Altisent, M., & Barreiro, P. (2004) Detection of Internal Quality in Seedless Watermelon by Acoustic Impulse Response. *Biosystems Engineering*, 88(2), 221–230.

Kia, M. (2000). Artificial Neural Networks in Matlab. ZANIS-Persian Gulf Publication.

Mc,Cambridge, M.A., Hung, Y.C., & Mallikarjunan, P. (1996) Detection of freeze–crack using digital signal processing. *Applied Engineering in Agriculture*, 12(4), 481-485.

Mahmoudi, A., Omid, M., Aghagolzadeh, A., & Borgayee, A.M. (2006) Grading of Iranian's export pistachio nuts based on artificial neural networks. *International journal of agriculture & biology*, 8(3), 371-376. (In Farsi)

Sajadi, S.J, Ghazanfari, A., Rostami, A. (2008) Using sound analysis and artificial neural networks to Pistachio sorting. *Fifth National Congress on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization*. (In Farsi)

Pearson, T.C. (2001) Detection of pistachio nuts with closed shells using impact acoustics. *Applied Engineering in Agriculture*, 17(2), 249-253.

Pearson. T.C., Cetin, A.E., & Tewfik, A.H. (2005) Detection of insect damaged Whet kernels by impact acoustics. *International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 7(5), 7803-8874.

www.SID.ir